

DIMENSIONAMENTO DOS SUPORTES EM ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM UMA MINA DE ZINCO

Luiz Henrique¹
Leandro de Vilhena Costa²

Resumo: O presente artigo tem como objetivo descrever os procedimentos, métodos para o dimensionamento de suportes em mina subterrânea e metodologias para avaliar a mecânica das rochas da mina em estudo. O dimensionamento desses suportes geralmente é baseado nas características da mina, no tipo de contenção com histórico de sucesso em outras minas e, mais recentemente, mesmo que só como referência, através de sistemas internacionais de classificação tais como Q de Barton e RMR de Bieniawski. Para o desenvolvimento dos trabalhos utilizou-se dados históricos provenientes da mina subterrânea de Vazante e coleta de dados realizados pela equipe de pesquisa. A escolha do suporte adequado deve sempre visar o melhor custo associado com produtividade e segurança mantendo a rocha estabilizada e reduzindo ou eliminando as probabilidades de ocorrência de colapsos.

310

Palavras-chave: Dimensionamento, Suportes, sistemas internacionais de classificação.

Abstract: The present work has as to describe the procedures, methods of dimensioning of the supports in mine, methodologies to evaluate the mechanics of the rocks of the mine under study. The sizing of these supports is usually based on the characteristics of the mine, the type of containment with a history of success in other mines, and, more recently, even if only as a reference, through international classification systems such as as Barton Q and Bieniawski RMR. For the development of the work using historical data from the vazante underground mine and data collection performed by the research team. Choosing the right support should always aim at the best cost associated with productivity and safety by keeping the rock stabilized and reducing or eliminating the likelihood of collapse.

Keywords: Sizing, Supports, International Classification Systems

¹ Engenheiro de minas graduado pela Faculdade FINOM.

² Professor do Curso de Engenharia de Minas da Faculdade do Noroeste de Minas – Finom/ Faculdade Tecsoma – Paracatu-MG e Doutor em Engenharia Mineral – UFOP- MG. Email: minas.leandro@gmail.com

Recebido em 10/02/2020
Aprovado em 22/02/2020

1. INTRODUÇÃO

A cidade de Vazante está localizada no noroeste de Minas Gerais, sendo o maior produtor de zinco do Brasil, com extração também de chumbo e prata, em menores proporções. As mineralizações são sob a forma de willemita e calamina, associadas a brechas de falhas.

A mina de Vazante está inserida no contexto de terrenos cársticos, com ocorrência de feições típicas deste ambiente, tais como surgências, sumidouros e cavernas. Globalmente falando, segundo Couto (2013), a região de Vazante trata-se de um maciço rochoso fraturado ao qual encontra-se uma grande percolação de água, responsáveis pelo grande número de cavidades, preenchidas por material argiloso fofo bastante fluido, com blocos de rocha inseridos. A mina de estudo apresenta uma grande variação de rochas, com resistências distintas, alguns exemplos são: dolomito rosa, dolomito cinza, brecha dolomítica, maciço alterado e filito preto. Devido as condições de rocha de Vazante, quase sempre são necessários a implantação de suportes para a estabilização das rochas, tornando as mais seguras para a continuidade das atividades mineiras.

A principal característica da faixa mineralizada é ser constituída de uma espessa zona de cisalhamento onde várias superfícies anastomosadas se entrecruzam, isolando corpos lenticulares com dimensões decimétricas à métricas. As falhas possuem baixa resistência, sendo planas e pouco onduladas na escala de lavra e preenchidas de material argiloso de espessura milimétrica.

Segundo Silva (2014) as minas subterrâneas apresentam fundamentalmente dois aspectos de segurança: a segurança estrutural das aberturas que envolvem tetos, pisos, paredes e pilares e a segurança ambiental, que é a criação e manutenção de um ambiente de trabalho confortável e adequado à execução das tarefas pertinentes ao empreendimento.

Segundo Couto (2013) quase todas as minas subterrâneas utilizam algum tipo de suporte artificial no intuito de manter a estabilidade das escavações durante a vida útil requerida para a lavra. O dimensionamento desses suportes geralmente é baseado na prática pregressa da mina, no tipo de contenção com histórico de sucesso em outras minas e, mais recentemente, mesmo que só como referência, através de sistemas internacionais de classificação tais como Q de Barton e RMR de Bieniawski.

Segundo Krauland (1983) citado por Hadjigeorglou e Charette (2001) “um sistema de suporte é bem sucedido se for seguro, econômico e atende às condições de produção requeridas.

A economia com os suportes de rocha tem sido conseguida com a avaliação dos custos devido ao apoio evitando custos desnecessários”.

A preocupação com a estabilidade das rochas tem sido um dos maiores problemas para a produção de uma mina subterrânea e também é uma das maiores reclamações dos trabalhadores de uma mina, pois a rocha interfere diretamente. Uma rocha de má qualidade pode interromper toda a atividade de uma mina. O prosseguimento das atividades, visando apenas produção, aumenta a possibilidade de acidentes fatais com pessoas ou materiais como na perda de equipamentos por soterramento devido à queda de todo o maciço ou mesmo de choccos.

A Mecânica de Rochas está relacionada com as propriedades mecânicas e o comportamento do maciço rochoso, isto é, como a rocha responde quando sujeita a um campo de forças, tensões em maciços, impactos da redistribuição de tensões, subsidências, “rock bursts”, comportamentos do subsolo, métodos de lavra empregados e grau de estabilidade estabelecido; dimensionamento e sustentação de escavações, suportes, revestimentos, segurança estrutural das aberturas, envolvendo tetos, paredes e pilares, vida útil e durabilidade da abertura e custo de instalação garantindo que um método de sustentação seja corretamente selecionado.

1.1 Características dos suportes em escavações subterrâneas

Os suportes para seu dimensionamento de sua estrutura e definição da dimensão dos elementos que o compõem para que possa resistir a tensões e esforços deve conhecer- se o fator de segurança considerado, o tempo previsto de sua utilização, os valores dos esforços e seus limites aceitáveis de deformações.

Em escavações subterrâneas, para garantir a estabilidade das rochas, é necessário garantir e fazer uma investigação detalhada sobre o maciço rochoso, desde a qualidade da rocha, tensões e suas direções, resistências, tipo de desmonte e suportes e um monitoramento da abertura. No estudo de cavidades naturais, existe pouca informação sobre a movimentação do maciço rochoso, com apenas dois métodos utilizados que é o mapeamento geológico-geotécnico e as análises sísmicas depois dos desmontes realizados na lavra (Extensometria). Outros estudos também são feitos como os estudos dos testemunhos de sondagem, podendo ser verificado quais os tipos de rocha nos níveis inferiores a serem escavados.

1.2 Métodos de Dimensionamento de Suportes

Para a escolha do melhor suporte a ser utilizado é preciso conhecer as características da mina de estudo. Silva (2011) menciona que há um bom número e métodos para o controle do maciço rochoso podem ser usados. Cada método tem suas limitações e serve para cada caso específico.

A classificação dos métodos de dimensionamento de suportes pode ser classificada por fatores de segurança e probabilísticos como proposto por Cambulat (2008) ou métodos empíricos ou desenvolvidos com base na experiência da informação local (RMR, Q, MRMR, gráfico de estabilidade) de acordo com Safe Work Australia (2011). BARTON E GRIMSTAD (1993) definem relação de suporte de escavação (ESR) em função do uso da escavação e do fator de segurança.

O objetivo no projeto de um suporte subterrâneo é ajudar o maciço a se auto suportar. O presente artigo tem como objetivo principal apresentar a metodologia adotada para dimensionar os suportes de lavra, minimizando os riscos na queda de chocos e na estabilização das escavações subterrâneas em áreas cársticas, usando como exemplo as técnicas aplicadas na mina subterrânea de Vazante - MG.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dos trabalhos utilizou-se dados históricos provenientes da mina subterrânea de Vazante e coleta de dados realizados pela equipe de pesquisa. Seguem as etapas desenvolvidas:

I- Pesquisa de referências bibliográficas, para o referencial teórico que endossa o tema proposto do dimensionamento dos suportes em escavações subterrâneas em uma mina de zinco.

II- Coletas de dados, com objetivo de interpretar o subsolo com estudos dos testemunhos de sondagem e dos deslocamentos na mina de Vazante, de maneira a caracterizar o sistema de suportes, utilizando equipamentos específicos, desde a verificação visual da galeria, a área da geologia, até se chegar a parte de equipamentos (sondas para furos de sondagem e extensômetro). Análise comparativa dos métodos Q de Barton e RMR de Bieniawski chegando ao modelo de Vazante, seus respectivos custos desses suportes a serem utilizados e o método de lavra empregado.

III- Com as informações levantadas nos itens, aplicar a classificação geomecânica de Vazante levando em conta a classe do maciço rochoso, levando em conta ao máximo a segurança das galerias.

IV- Análise de resultados e conclusões;

Os suportes usados na mina de Vazante são os tirantes com resinas, tirantes expansíveis swellex, concreto projetado, cabos (cable bolts), telas metálicas, cambotas metálicas e enfilagem cada um com uma resistência a ser suportada diferente e devem ser instalados nas frentes de acordo com sua classe do maciço, representados nas figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

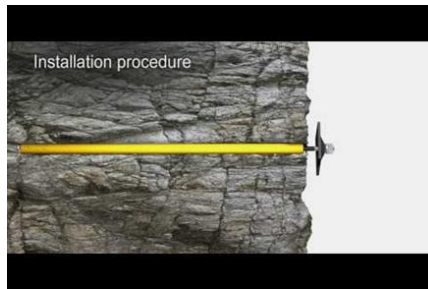


Figura 1 - Representação do tirante instalado no maciço rochoso

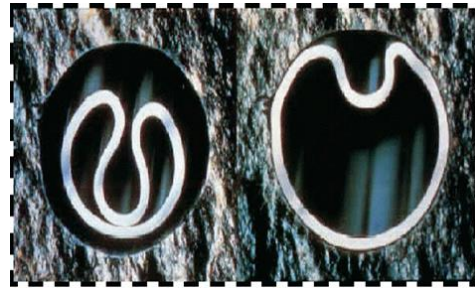


Figura 2 – Cabo de aço usado no reforço das rochas
Fonte: www.dsineuground.com.br



Figura 3 – Equipamento Cabolt
Fonte: www.atlascopco.com.br



Figura 4 – Equipamento Spraymec na projeção de projeto
Fonte: www.normet.com

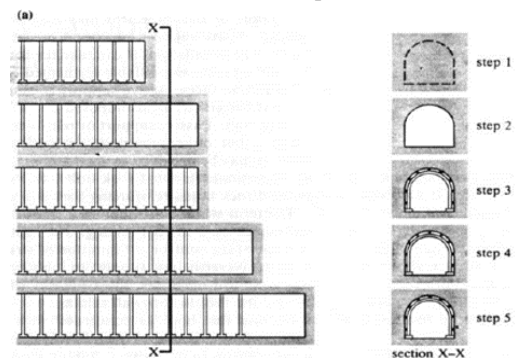


Figura 5 – Sistema de cambotas metálicas
Fonte: Dimensionamento e suporte de aberturas subterrâneas



Figura 6 – Sistema tela metálica
Fonte: miningandconstuction.com

Os equipamentos ou materiais utilizados na coleta de dados foram:

- I. Sondas para perfurações para ser feito as pesquisas dos testemunhos (figura 7);
- II. Extensômetro de haste, usado para medir as deformações da rocha e abalos sísmicos após detonações (figura 8);
- III. Mapas Geotécnicos com todos os perfis do maciço rochoso da Mina de Vazante;
- IV. Datamine Studio 2 e 3, software muito utilizado em mineração;
- V. Uma camionete L-200, para logística, carregamento e transporte dentro da mina.



Figura 7 – Sonda de pesquisa subterrânea
Fonte: jie.itaipu.gob.br



Figura 8 – Extensômetro de haste
Fonte: www.geosol.com.br

2.1 Área de estudo

Os trabalhos e pesquisa ocorreram na mina subterrânea, unidade de Vazante, localizado no noroeste do estado de Minas Gerais e situada a 8 km a norte da cidade de Vazante. Vazante, fica aproximadamente 350 km de Brasília e 500 km de Belo Horizonte de acordo com a figura 7. A unidade Vazante possui uma das maiores reservas do bem mineral de zinco no Brasil. A mina de estudo, está em localizado em um intenso fluxo de água subterrâneo condicionados por fraturas e falhas, requerendo estudo hídrico o tempo todo para que a produção seja viabilizada.

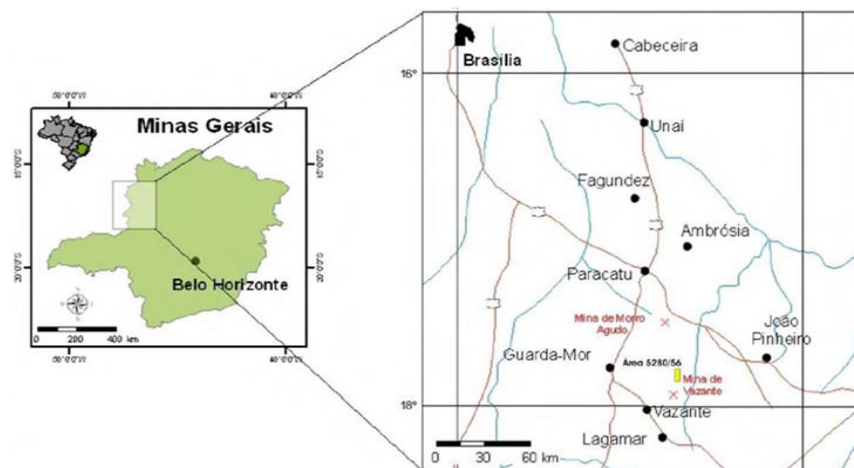


Figura 9- Localização da área em estudo.
Fonte: Modificado de Apolo Bhering (2009)

O objetivo principal desse dimensionamento é definir melhores traçados para as escavações, diminuindo custos e aumentando a segurança na estabilidade das rochas nas galerias.

Neste tópico descreve os métodos aplicados e equipamentos utilizados para coleta de dados, desde a inspeção visual feita pela equipe de mecânica de rochas, até a classe definida da rocha para ser feito a seleção do suporte. Com essas informações podemos determinar o(s) suporte(s) ideais para cada tipo de rocha. Além da resistência dos suportes, outras informações deverão ser levantadas como a avaliação dos testemunhos, extensometria, mapeamentos geotécnicos das galerias e o uso das classes definidas devido a análise dos modelos dos maciços rochosos Q de Barton e RMR de Bieniawski chegando ao modelo Vazante.

2.2 Coleta de dados

2.2.1. Escolha das galerias de estudo

As galerias dos trechos de estudo, foram escolhidos observando a má qualidade da rocha, sendo a galeria 420 GTS um maciço muito alterado, e a galeria de pesquisa 326 GPN sendo uma galeria escavada no filito. As duas galerias necessitam de estudos detalhados e precisos para não ocorrer erros no dimensionamento, que poderão causar acidentes futuros com quedas de blocos.

2.2.1.2 Verificação visual

A verificação visual foi feita pelo responsável pelo setor de mecânica de rochas, sendo bem instruído na aplicação da teoria de controle de estabilidade e as condições locais. É sempre observado o aumento da pressão e o efeito de lavra na distribuição das tensões, para permitir que as recomendações de suporte estejam baseadas em princípios sólidos. Reconhecer alterações nas condições do maciço rochoso que exijam variações no suporte planejado e sugerir mudanças na necessidade de suporte com base nas condições do maciço e a observação do saneamento na frente da galeria vendo o tamanho dos blocos rochosos, se é muito fraturado, se há a presença de fendas e veios d'água.

2.2.1.3 Parâmetros básicos para a classificação geomecânica de Vazante

De acordo com as observações acima, constata-se que os parâmetros mais importantes para se definir uma classificação geomecânica para a mina de Vazante são:

- O grau de fraturamento (fragmentação dos blocos);
- O grau de alteração;
- O padrão estrutural que está diretamente associado às litologias;

- A presença de fendas.

Tal constatação baseia-se no fato de serem estes quatro parâmetros, os únicos que variam ao longo das diversas áreas da mina subterrânea, interferindo na estabilidade das escavações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na verificação visual da galeria 420 GTN foi constatado uma rocha muito alterada de classe V com uma resistência de cerca de 70 MPa de acordo com a classificação geomecânica da mina de Vazante, com presença de pequenas fendas no teto da galeria e pequenos blocos rochosos, com presença de muito barro e argila, mais não foi constatado a presença de água, pois a rocha se encontrava muito úmida. Não foi possível utilizar o Scaler no saneamento, devido a rocha ser baixíssima resistência, foi utilizado uma retroescavadeira para ser feito a queda e raspagem de blocos soltos.

Na verificação visual da galeria de pesquisa 326 GPN (figura 12) foi observado que a galeria está sendo escavada no filito preto, com uma resistência de 50 MPa a 100 MPa, de classe VI de acordo com a classificação geomecânica da mina de Vazante, com pouca presença de água, o que não interfere nos processos de atividades da frente. No acompanhamento do Scaler, foi observado que o filito é de fácil ruptura, que o saneamento é feito apenas na derrubada de pequenos blocos, pois o filito possui uma resistência baixa, quanto mais se bate o martelo do Scaler mais blocos vão se fraturar, devendo ser feito o mínimo de derrubada de choccos.

As duas galerias em estudo estão no mapeamento de instabilidade pois possuem grande riscos de instabilidade rochoso, por isso são consideradas galerias de alto risco, com uma atenção maior à contenção e estabilidade da rocha, sendo permitido apenas um fogo na frente de lavra, logo em seguida a estabilização desse deslocamento.



Figura 10 - Perfil Geológico Nível 420 GTN
Fonte: Votorantim Metais

Esse é o nível 420 GTN, em roxo são os furos de pesquisa, a cor vermelha indica rocha fraturada com insurgência de água, a verde e rosa é a rocha transição onde a rocha já começou a melhorar e a roxa indica que a rocha já está maciça. Nesta galeria falta cerca de 20 metros para se chegar a uma rocha de boa qualidade conforme os testemunhos de sondagem.

A figura 11 mostra os testemunhos de sondagem dessa galeria, com os testemunhos bastantes fragmentados, mostrando realmente que a rocha é muito alterada, contendo fendas, presença de água, barro, sendo muito fraturada.



Figura 11 - Testemunhos de sondagem Nível 420 GTN
Fonte: Votorantim Metais

Foi observado em campo a presença de rocha alterada no caso o filito/marga e estruturas portadoras de água. Devido às novas condições observadas em campo, com grande presença de água, estuda-se a necessidade de se fazer estas pesquisas no setor de hidrogeologia que está acompanhando a escavação e caso haja o aumento de estruturas portadoras de água será solicitada a interrupção de escavação da frente e realização da pesquisa. Uma vez que o Nível d'água nesta frente encontra-se bastante elevado.

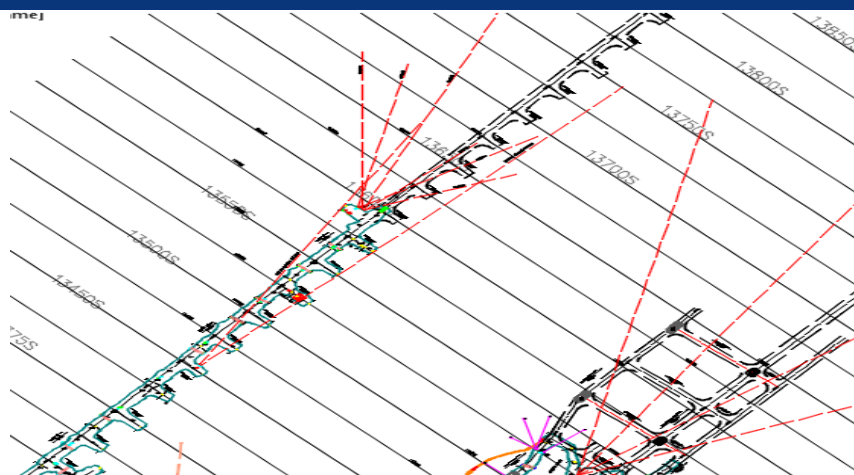


Figura 12 – Perfil Geológico Nível 326 GPN
Fonte: Votorantim Metais

Com base nos furos de sondagem realizados no nível 326 da mina, foi possível interpretar 49 perfis geotécnicos que tiveram como produto final plantas geotécnicas dos níveis abaixo, como os níveis 300, 275, 245 e 215. A figura abaixo apresenta como é feito os furos de sondagem para descobrimento do tipo de rochas a ser escavado futuramente.

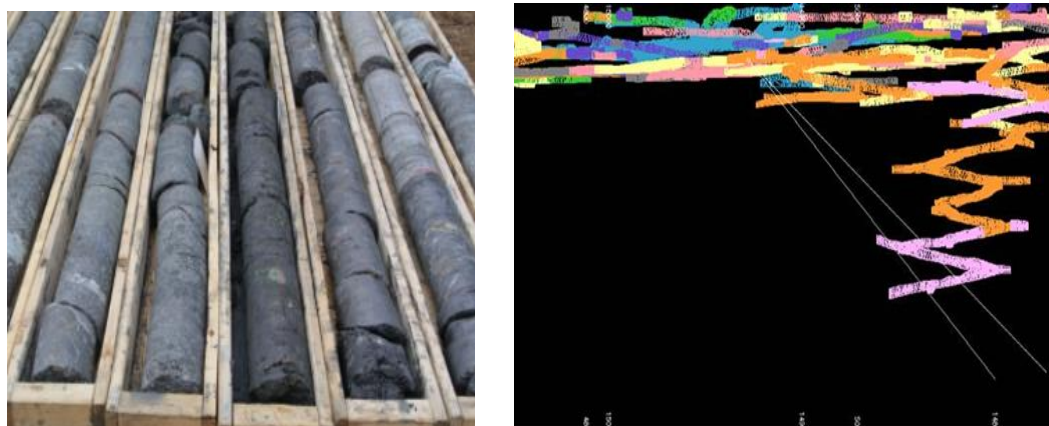


Figura 11- Filito nos testemunhos de sondagem Nível 326 GPN
Fonte: Votorantim Metais

Na extensometria foi possível verificar os deslocamentos das galerias após as detonações da frente de lavra, podendo-se verificar se a rocha está se deslocando de forma cíclica ou permanente. Ocorreram baixas deformações, mas mesmo assim deve ocorrer preocupações pois não se sabe quando esse maciço pode se deformar completamente. A tabela 1 e 2 mostram as deformações das galerias de estudos, sendo os valores negativos referentes às deformações cíclicas, quando o maciço rochoso se deforma e volta ao seu estado anterior.

Tabela 1 – Deslocamento da galeria 420 GTN após detonação

DIA	ERRO RELATIVO (%)	DESLOCAMENTO (mm)
04/jul	3,7	22,92

11/jul	4,3	30,54
18/jul	3,9	11,73

Fonte: Votorantim Metais

Tabela 2 – Deslocamento da galeria 326 GTN após detonação

DIA	ERRO RELATIVO (%)	DESLOCAMENTO (mm)
04/jul	2,9	33,12
11/jul	4	-33,78
18/jul	2	-11,87

Fonte: Votorantim Metais

Foi obtido do **sistema Q de Barton** em função dos índices para a mina Vazante os seguintes resultados:

- Maciço muito alterado: $Q = 0,033$ (classe VI – maciço extremamente pobre) - Galeria 420 GTN;

- Filito preto: $Q = 0,55$ (classe V-A = maciço muito pobre) - Galeria 326 GPN.

A contenção sugerida segundo esse método para as galerias de estudo é a seguinte:

- Para $Q = 0,033$ (Maciço muito alterado) é recomendado o atirantamento sistemático, malha 1,5m x 1,5m, com comprimento de 1,7m, mais 12cm a 15cm de concreto projetado reforçado com fibra.

- Para $Q = 0,55$ (Filito preto) a contenção sugerida é de atirantamento sistemático malha 1,5m x 1,5m com comprimento de 1,7m, mais 5cm a 9cm de concreto projetado reforçado com fibra.

No sistema RMR de Bieniawski foram obtidos os seguintes resultados:

- Maciço muito alterado: $RMR = 16$ (maciço classe V = rocha muito pobre) - Galeria 420 GTN;

- Filito preto: $RMR = 33$ (maciço classe IV = rocha pobre) - 326 GPN.

A contenção sugerida segundo o sistema RMR para as galerias de estudo é a seguinte:

- Para $RMR = 16$, corresponde ao “maciço muito alterado”, é sugerido atirantamento sistemático, inclusive no piso, com 5m de comprimento, espaçados de 1,5m no teto e nas laterais com tela metálica. Aplicação de 15cm a 20cm de concreto projetado no teto, 15cm nas laterais e 5cm na face. Cambotas moderadas a pesadas, espaçadas de 75cm.

- Para $RMR = 33$ (Filito preto) atirantamento sistemático de 4m a 5m de comprimento, espaçados de 1m a 1,5m no teto e nas paredes, com tela metálica. Aplicação de 10cm a 15cm

de concreto projetado no teto e 10cm nas laterais. Instalar cambotas leves espaçadas de 1,5m onde requeridas.

Analisando esses dois métodos constata-se que o método de Bieniawski quanto as contenções é um método mais seguro quanto ao Q de Barton, tanto nas duas galerias em estudo.

Com base e análises nesses dois métodos foi criado uma classificação geomecânica da mina de Vazante, conciliando esses dois métodos e tornando-o ainda mais seguro para as galerias de estudo.

Após todos esses estudos verifica-se à qual suporte ser usado nas galerias de estudo sendo relacionados a seus respectivos custos conforme a tabela 3 de comparação:

Tabela 3 - Comparação dos suportes da mina de Vazante

SUORTE	RESISTÊNCIA	UTILIZAÇÃO (CLASSE ROCHA)	CUSTOS (JAN-JUL)
Tirante com Resina	25 ton	II-A, II-B, III-A, III-B, IV-A, IV-B, VI	R\$ 911.237,23
Tirante swellex	11 ton	Escavações temporárias	R\$ 169.074,44
Concreto projetado	28 ton	IV-A, IV-B, V, VI	R\$ 1.260.891,47
Cable Bolts	25 ton	Realces	R\$ 117.812,01
Cambotas metálicas	5 ton	V	R\$ 28.000,00
Telas Metálicas	3 ton	IV-A, IV-B, V	R\$ 18.263,00
Enfilagem	8 ton	V	R\$ 42.335,56

Fonte: Os autores

Com base em todos esses estudos chega-se a um sistema de contenção segundo a Classificação Geomecânica da Mina de Vazante. Para a galeria 420 GTS devido a não ter uma boa rocha, tirante com resina nem swellex não irão atender devido a ser um maciço argiloso, não estabilizando a rocha corretamente devido a sua deformação, sendo comprovada na extensometria. Será necessário o uso de mais de um suporte para tornar-se um local seguro. A contenção utilizada e aplicada será enfilagem com vergalhões de 6 a 9 m espaçados de 20 a 30 cm mais cambotas metálicas espaçadas de 0,75 cm a 1,5 m e tela metálica quadrada entre as cambotas com concreto projetado preenchendo os espaços vazios. Colocar tubos para drenagem nas fendas de aplicar o concreto. Para esse maciço de classe VI é necessário esse maior número de suportes devido a qualidade da rocha, com um custo mensal de R\$ 192.784,29 gastos com 120 metros avançados de contenção na galeria, tomando em conta o máximo de segurança para não ocorrer acidentes futuros e nem parar a produção de minério da mina.

Para a galeria 326 GPN, com o maciço de classe VI, deve-se ser usado um atirantamento sistemático no teto com espaçamento no teto, malha "pé de galinha" 1,5 m x 1,5 m, com tirantes de resina 1" x 2,40 m, por ter uma resistência de carga maior e por não ser uma escavação

temporária para o uso no caso do swellex, mais 5 cm de concreto projetado com fibra com um custo mensal de R\$ 310.304,10 com os mesmos 120 mts avançados com contenções. Como na galeria anterior foi necessário também o uso de mais de um suporte, devido ao fraturamento do maciço rochoso.

Na mesma unidade a cerca de 40 anos, não se tinha o uso de atirantamento sistemático na mina como é nos dias de hoje, sendo estabilizado apenas as áreas de rochas mais ruins. O número de acidentes por queda de blocos era frequente.

3.2. Custos dos suportes utilizados

As galerias de estudo estão relacionadas ao método de lavra corte e enchimento, sendo descartado o suporte de contenção cable bolts, que é empregado no método VRM, na abertura de realces em que é necessária uma estabilização da rocha mais profunda.

As tabelas de 4 a 9 apresentam com os custos dos suportes instalados na unidade de Vazante, realizados de janeiro a julho de 2019.

Tabela 4 - custos dos principais suportes utilizados em Vazante

Atirantamento (Resina)	Realizado de janeiro a julho (2019)
Perfuração	14061 metros perfurados e instalados
Resinas PL e PR (86090 cartuchos)	R\$ 261.509,00
Tirantes 2,40m (16086 peças)	R\$ 620.304,23
Chapas (9666 chapas)	R\$ 29.424
Total	R\$ 911.237,23

- Custo Tirante com Resina

Fonte: Votorantim Metais (Nexa)

Tabela 5 - Custo Swellex

Atirantamento (swellex)	Realizado de janeiro a julho (2019)
Perfuração	14061 metros perfurados e instalados
Swellex (7016 peças)	R\$ 154.651,00
Placas (3800 placas)	R\$ 14.423,44
Total	R\$ 169.074,44

Fonte: Votorantim Metais (Nexa)

Tabela 6 - Custo Cabeamento

Cabeamento	Realizado de janeiro a julho (2019)
------------	-------------------------------------

Concreto Projetado	Realizado de janeiro a julho (2019)
Cimento 50Kg (23748 sacos)	R\$ 516.061
Areia Lavada (1379 m ³)	R\$ 152.020,00
Brita (1075 m ³)	R\$ 89.741,47
Aditivo Meyco (73.680 Lts)	R\$ 172.329
Aditivo Reobuild (17523 sacos)	R\$ 84.162
Fibra Dramix (39000 peças)	R\$ 232.006
Aditivo Estabilizer (2769 m)	R\$ 14.572
Total	R\$ 1.260.891,47
<hr/>	
Perfuração	18316 metros perfurados e instalados
Cimento 50Kg (2623 sacos)	R\$ 47.661,01
Cone de borracha (1500 cones)	R\$ 18.043,00
Cordoalha 15,20mm (13846 Kg)	R\$ 52.108
Total	R\$ 117.812,01

Fonte: Votorantim Metais (Nexa)

Tabela 7 - Custo Concreto Projetado

Fonte: Votorantim Metais (Nexa)

Tabela 8- Custo cambotas metálicas

Cambotas Metálicas	Realizado de janeiro a julho (2019)
Cambotas (8 toneladas)	R\$ 28.000,00
Total	R\$ 28.000,00

Fonte: Votorantim Metais (Nexa)

Tabela 9- Custo Telas Metálicas

Tela Metálica	Realizado de janeiro a julho (2019)
Tela Bematel (800Kg)	R\$ 18.263,00
Total	R\$ 18.263,00

Fonte: Votorantim Metais (Nexa)

Tabela 10 - Custo enfilagem

Enfilagem	Realizado de janeiro a julho (2019)
Estacas de eucalipto (550 peças)	R\$ 20.585
Isopor (336 m)	R\$ 6.551,76
Materiais para enfilagem (2535 peças)	R\$ 9.798,80
Chapa metálica (56 peças)	R\$ 5.400
Total	R\$ 42.335,56

Fonte: Votorantim metais (Nexa)

4. CONCLUSÃO

Os estudos tiveram como objetivo principal obter os fatores para um dimensionamento de suportes correto e seguro para proporcionar melhores condições de trabalho dentro da mina oferecendo menores riscos. Examinando as galerias de estudo, não se pode ocorrer erros, pois se encontram duas rochas de má qualidade. Uma galeria escavada em maciço muito alterado e outro galeria escavada no filito/marga com grande fragmentação e deslocamentos de ambas. Os furos de sondagem comprovaram a má qualidade da rocha, de acordo com a classificação geomecânica de Vazante, sendo a galeria 420 GTN com uma rocha de classe V e a galeria 326 GPN com uma rocha de classe maciço VI. A extensometria mostrou os movimentos rochosos, descartando alguns suportes na seleção. De acordo com todos esses estudos e análises os métodos Q de Barton, RMR de Bieniawski chega-se ao modelo de classificação de Vazante, apresentando resultados coerentes quando comparado em situações reais observadas em campo.

REFERÊNCIAS

BARTON, N., E. GRIMSTAD. **Updating of the q-system for NMT**. Norwegian Geotechnical Institute, Norway. 1993.

CANBULAT, I. Evaluation and design of optimum support systems in South African collieries using the probabilistic design approach. Dissertation submitted to Faculty of Engineering Built Environmental and Technology for the degree Philosophy Doctor. 2008.

COUTO, L.C.G. **Classificação Geomecânica Mina Subterrânea Vazante**. Votorantim Metais; UGB Lavras; Mecânica de Rochas; Vazante - MG, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **NRM-05**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-237-em-18-10-2001-do-diretor-geral-do-dnpm>>. Acesso em 11 de setembro 2019. 2001.

GONTIJO A.A. et al. Utilização de Sensor Ótico para Monitoramento Contínuo de Convergência em Ambientes Subterrâneos. 2014.

HARTMAN, H. L. **SME Mining Engineering Handbook** (Volume 2), 2nd Edition, AIME, New York. 1992.

HADJIGEORGLU J.; CHARETTE F. **Underground Mining Methods**. Disponível em: <http://books.google.com.br/books/about/Underground_Mining_Methods.html?id=N9Xpi6a5304C&redir_esc=y>. Acesso em 10 de setembro 2019. 2001.

HOEK, E.; KAISER, P. K.; BAWDEN, W. F. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Balkema. Rotterdam. 1995.

MINICUCCI L.A. Treinamento de supervisores e geólogos de frente de escavação, 20_ _? Metodologia de campo para classificação de maciços rochosos – Índice Q Barton. 1993.

MOREIRA C.M.C. Túneis, uma herança ancestral rumo ao futuro, 20_ _? Disponível em: <<http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/1886/1/92-115.pdf>>. Acesso em 6 de setembro 2019.

SILVA, J.M. **Dimensionamento de ancoragens**. Nota de aulas MIN 225 escavações subterrâneas, 2014.

SILVA, J.M. **Estabilidade de Escavações Subterrâneas**. Sustentação de Escavações Subterrâneas de Lavra, 2007.